

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 11-204866

(43)Date of publication of application : 30.07.1999

(51)Int.Cl. H01S 3/10
 H04J 14/00
 H04J 14/02
 H04B 10/17
 H04B 10/16
 H04B 10/02
 H04B 10/18

(21)Application number : 10-008010

(71)Applicant : KDD

(22)Date of filing : 19.01.1998

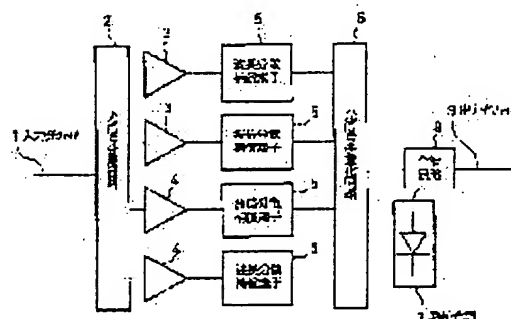
(72)Inventor : TAGA HIDENORI
YAMAMOTO SHU

(54) WAVELENGTH MULTIPLEXING SIGNAL AMPLIFICATION RELAY AND OPTICAL COMMUNICATION TRANSMISSION LINE PROVIDED THEREWITH

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a wavelength multiplexing signal amplification relay which is capable of redoubling transmittable wavelength multiplexing signals in number, so as to obtain a super-large capacity optical communication transmission line of a few Tbit/s and an optical communication transmission line provided therewith.

SOLUTION: Light wavelength multiplexing signals outputted from an input optical fiber 1 are separated into light signals of 1.3 μm band and other light signals of 1.55 μm band, light signals of 1.55 μm band are amplified by a 1.55 μm band optical amplifier 3, and other light signals of 1.3 μm band are amplified by a 1.3 μm band amplifier 4. These light signals are multiplexed through a light signal multiplexing circuit 6, inputted into a multiplexing circuit 8, and compounded with exciting light outputted from a 1.3 μm band Raman amplifying exciting light source 7. Light signals of 1.3 μm band are given a Raman gain by the exciting light source 7, whereby the loss of light signals of 1.3 μm band in an optical fiber can be compensated.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

24.07.2001

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平 11 - 204866

(43) 公開日 平成11年(1999)7月30日

(51) Int. Cl.⁶

識別記号

F I

H 0 1 S 3/10

H 0 1 S 3/10

Z

H 0 4 J 14/00

H 0 4 B 9/00

E

14/02

J

H 0 4 B 10/17

M

10/16

審査請求 未請求 請求項の数 24

O L

(全 12 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願平10-8010

(22) 出願日 平成10年(1998)1月19日

(71) 出願人 000001214

ケイディディ株式会社

東京都新宿区西新宿2丁目3番2号

(72) 発明者 多賀 秀徳

東京都新宿区西新宿2丁目3番2号 国際電
信電話株式会社内

(72) 発明者 山本 周

東京都新宿区西新宿2丁目3番2号 国際電
信電話株式会社内

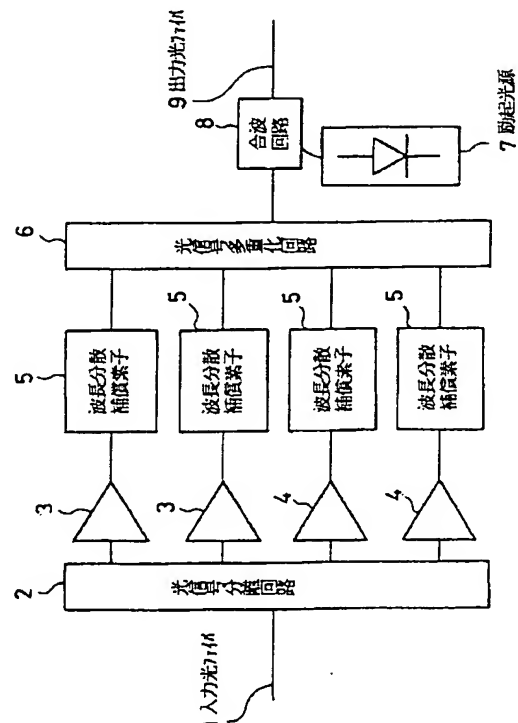
(74) 代理人 弁理士 三好 秀和 (外3名)

(54) 【発明の名称】 波長多重信号増幅中継器および該中継器を用いた光通信伝送路

(57) 【要約】

【課題】 数Tbit/sの超大容量の光通信伝送路を達成し得るように伝送可能な波長多重信号数を倍増し得る波長多重信号増幅中継器および該中継器を用いた光通信伝送路を提供する。

【解決手段】 入力光ファイバ1からの光波長多重信号は光信号分離回路2で1.3 μ m帯と1.55 μ m帯の光信号に分離され、1.55 μ m帯の光信号は1.55 μ m帯光増幅器3で増幅され、1.3 μ m帯の光信号は1.3 μ m帯光増幅器4で増幅され、光信号多重化回路6で多重され、合波回路8に入力され、1.3 μ m帯ラマン増幅用励起光源7からの励起光と合波され、1.3 μ m帯の光信号は励起光源7からの励起光によりラマン利得を与えられ、光ファイバにおける1.3 μ m帯の光信号の損失を補償するようになっている。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 光波長多重信号を増幅して中継する波長多重信号増幅中継器であって、1. 3 μm 帯の光信号と 1. 55 μm 帯の光信号の両方を増幅する光増幅手段と、1. 3 μm 帯でラマン増幅を起こさせる作用を有する励起光源と、1. 3 μm 帯の光信号にラマン増幅を起こさせるべく前記励起光源からの励起光を光波長多重信号と合波する合波手段とを有することを特徴とする波長多重信号増幅中継器。

【請求項 2】 前記光増幅手段は、1. 3 μm 帯の利得帯域を有する第 1 の光増幅器手段と、1. 55 μm 帯の利得帯域を有する第 2 の光増幅器手段とを有することを特徴とする請求項 1 記載の波長多重信号増幅中継器。

【請求項 3】 前記第 1 および第 2 の光増幅器手段に対してそれぞれの帯域に対応した光信号を供給すべく前記光波長多重信号を前記第 1 および第 2 の光増幅器手段の帯域に対応した光信号に分離する光分離手段と、前記第 1 および第 2 の光増幅器手段で増幅された帯域の異なるそれぞれの光信号を多重化する光多重化手段とを有することを特徴とする請求項 2 記載の波長多重信号増幅中継器。

【請求項 4】 前記光分離手段および前記光多重化手段は、アレイ光導波路を有することを特徴とする請求項 3 記載の波長多重信号増幅中継器。

【請求項 5】 前記光分離手段および前記光多重化手段は、透過と反射を多段に組み合わせた誘電体多層膜フィルタを有することを特徴とする請求項 3 記載の波長多重信号増幅中継器。

【請求項 6】 前記光分離手段および前記光多重化手段は、クロストークが 29 dB 以上であることを特徴とする請求項 3 記載の波長多重信号増幅中継器。

【請求項 7】 前記第 1 および第 2 の光増幅器手段のいずれか一方または両方の後段に設けられ、伝送路の波長分散を補償する分散補償手段を有することを特徴とする請求項 2 記載の波長多重信号増幅中継器。

【請求項 8】 前記分散補償手段は、伝送路の波長分散の補償と同時に波長分散傾斜も補償する波長分散傾斜補償手段を有することを特徴とする請求項 7 記載の波長多重信号増幅中継器。

【請求項 9】 前記分散補償手段は、ファイバグレーティングを有することを特徴とする請求項 7 または 8 記載の波長多重信号増幅中継器。

【請求項 10】 前記励起光源は、半導体レーザダイオードを有することを特徴とする請求項 1 記載の波長多重信号増幅中継器。

【請求項 11】 前記励起光源は、半導体レーザダイオードで励起されるファイバラマンレーザを有することを特徴とする請求項 1 記載の波長多重信号増幅中継器。

【請求項 12】 前記合波手段は、本波長多重信号増幅中継器の入力側または出力側または入力側と出力側の両

方において前記励起光源からの励起光を光波長多重信号と合波して 1. 3 μm 帯の光信号にラマン増幅を起こさせるように設けられていることを特徴とする請求項 1 記載の波長多重信号増幅中継器。

【請求項 13】 前記合波手段は、WDM（波長分割多重）カプラを有することを特徴とする請求項 1 記載の波長多重信号増幅中継器。

【請求項 14】 前記合波手段は、誘電体多層膜フィルタを有することを特徴とする請求項 1 記載の波長多重信号増幅中継器。

【請求項 15】 波長多重通信方式で光ファイバを伝送される光波長多重信号の 1. 3 μm 帯の光信号と 1. 55 μm 帯の光信号の両方を増幅する光増幅手段、1. 3 μm 帯でラマン増幅を起こさせる作用を有する励起光源、1. 3 μm 帯の光信号にラマン増幅を起こさせて、光ファイバの 1. 3 μm 帯の損失と 1. 55 μm 帯の損失の差を補償させるべく前記励起光源からの励起光を光波長多重信号と合波する合波手段を有し、光波長多重信号を増幅して中継する 1 台以上複数台の波長多重信号増幅中継器を光ファイバに直列に配設したことを特徴とする光通信伝送路。

【請求項 16】 前記光ファイバは、1. 55 μm 帯に設定された平均零分散波長を有することを特徴とする請求項 15 記載の光通信伝送路。

【請求項 17】 前記伝送される光波長多重信号は、波長間隔が 1. 3 μm 帯では等間隔であり、1. 55 μm 帯では不等間隔であることを特徴とする請求項 16 記載の光通信伝送路。

【請求項 18】 前記波長多重信号増幅中継器は、光増幅手段が 1. 3 μm 帯の利得帯域を有する第 1 の光増幅器手段および 1. 55 μm 帯の利得帯域を有する第 2 の光増幅器手段を有し、前記第 1 の光増幅器手段の後段に設けられ、伝送路の波長分散を補償する分散補償手段を有することを特徴とする請求項 16 記載の光通信伝送路。

【請求項 19】 前記光ファイバは、1. 3 μm 帯に設定された平均零分散波長を有することを特徴とする請求項 15 記載の光通信伝送路。

【請求項 20】 前記伝送される光波長多重信号は、波長間隔が 1. 55 μm 帯では等間隔であり、1. 3 μm 帯では不等間隔であることを特徴とする請求項 19 記載の光通信伝送路。

【請求項 21】 前記波長多重信号増幅中継器は、光増幅手段が 1. 3 μm 帯の利得帯域を有する第 1 の光増幅器手段および 1. 55 μm 帯の利得帯域を有する第 2 の光増幅器手段を有し、前記第 2 の光増幅器手段の後段に設けられ、伝送路の波長分散を補償する分散補償手段を有することを特徴とする請求項 19 記載の光通信伝送路。

【請求項 22】 前記光ファイバは、1. 55 μm 帯よ

りも更に長い波長帯に設定された平均零分散波長を有することを特徴とする請求項 15 記載の光通信伝送路。

【請求項 23】 前記光ファイバは、1.3 μm 帯よりも更に短い波長帯に設定された平均零分散波長を有することを特徴とする請求項 15 記載の光通信伝送路。

【請求項 24】 前記光ファイバは、1.3 μm 帯と 1.55 μm 帯との間に設定された平均零分散波長を有することを特徴とする請求項 15 記載の光通信伝送路。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、光波長多重信号を増幅して中継する波長多重信号増幅中継器および該中継器を用いた光通信伝送路に関する。

【0002】

【従来の技術】 光増幅器を使用した光ファイバ伝送路は、光増幅器が波長多重光信号を一括して増幅可能であることから、光波長多重通信との親和性がよく、9000 km を越えるような長距離伝送実験も報告されている（参考文献：多賀他、「波長多重技術を用いた長距離大容量伝送」、電子情報通信学会光通信システム研究会、OCS97-39, 1997 年）。

【0003】 しかし、長距離光通信用波長帯である 1.55 μm 帯で使用されている光増幅器であるエルビウムドープ光ファイバ増幅器（以下、EDFA と略す）の増幅帯域は、1530 nm ~ 1570 nm の 40 nm 程度であり、国際電気通信連合（ITU-T）で標準化されている波長多重信号の波長間隔 100 GHz では、50 波長多重程度が波長多重数の限界である。

【0004】 最近、EDFA の利得帯域を長波長側にシフトしたゲインシフト EDFA が報告されている（参考文献：小野他、「低雑音・高利得 1.58 μm 帯 EDFA」、1997 年電子情報通信学会エレクトロニクスソサエティ大会、C-3-17）。このゲインシフト EDFA の増幅帯域は、1580 ~ 1620 nm の 40 nm 程度であり、通常の EDFA と組み合わせることにより利得帯域をほぼ 2 倍に拡大した光増幅器の報告もされている（参考文献：山田他、「1.55 μm 帯および 1.58 μm 帯 EDFA を用いた並列型光増幅器」、1997 年電子情報通信学会エレクトロニクスソサエティ大会、C-3-16）。しかしながらこのような方法を用いても、波長多重数は 100 波程度が限界となってしまう。

【0005】 将来の光ファイバ通信の伝送容量としては、数 Tbit/s の超大容量が要求されるものと考えられる。研究レベルの技術としては、総伝送容量で 2.6 Tbit/s の波長多重信号を送信した報告が既になされている（参考文献：Y. Yano et al., "2.6 Terabit/s WDM transmission experiment using optical duobinary coding," ECOC '96, Paper ThB.3.1, 1996）。SDH 標準のビットレートである STM-64 (10 Gbit/s) を 1 波長

当りの容量とし、このような伝送容量を達成するためには、波長多重数として 100 波程度では不足で、少なくとも 200 波以上が必要と考えられる。

【0006】 このように見てくると、ITU-T 標準と SDH 標準という世界的な標準に則って、数 Tbit/s の超大容量光通信伝送路を構築する技術は、これまで明らかにされていない。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】 上述したように、将来の光ファイバ通信の伝送容量としては、数 Tbit/s の超大容量が要求されるものと考えられ、このような伝送容量を達成するためには波長多重数として少なくとも 200 波以上必要であるが、現在使用されている通常の EDFA では波長多重数は 50 波程度であり、また前述のゲインシフトした EDFA と通常の EDFA を組み合わせたものでも 100 波程度が限界であり、現状の光増幅器では将来必要となる数 Tbit/s の超大容量の光通信伝送路を達成することができないという問題がある。

【0008】 本発明は、上記に鑑みてなされたもので、その目的とするところは、数 Tbit/s の超大容量の光通信伝送路を達成し得るように伝送可能な波長多重信号数を倍増し得る波長多重信号増幅中継器および該中継器を用いた光通信伝送路を提供することにある。

【0009】

【課題を解決するための手段】 上記目的を達成するため、請求項 1 記載の本発明は、光波長多重信号を増幅して中継する波長多重信号増幅中継器であって、1.3 μm 帯の光信号と 1.55 μm 帯の光信号の両方を増幅する光増幅手段と、1.3 μm 帯でラマン増幅を起こさせる作用を有する励起光源と、1.3 μm 帯の光信号にラマン増幅を起こさせるべく前記励起光源からの励起光を光波長多重信号と合波する合波手段とを有することを要旨とする。

【0010】 請求項 1 記載の本発明にあっては、1.3 μm 帯の光信号と 1.55 μm 帯の光信号の両方を増幅するとともに、励起光源からのラマン増幅用励起光を光波長多重信号と合波して 1.3 μm 帯の光信号にラマン増幅を起こさせるため、1.55 μm 帯よりも大きい 1.3 μm 帯における光ファイバの損失をラマン増幅で補償することができ、伝送帯域を大幅に広げた光通信伝送路を実現でき、数 Tbit/s の超大容量光通信も可能となる。

【0011】 また、請求項 2 記載の本発明は、請求項 1 記載の発明において、前記光増幅手段が、1.3 μm 帯の利得帯域を有する第 1 の光増幅器手段と、1.55 μm 帯の利得帯域を有する第 2 の光増幅器手段とを有することを要旨とする。

【0012】 請求項 2 記載の本発明にあっては、1.3 μm 帯の光波長多重信号は 1.3 μm 帯用の第 1 の光増幅器手段で増幅し、1.55 μm 帯の光波長多重信号は

1. $55\mu\text{m}$ 帯用の第2の光増幅器手段で増幅している。

【0013】更に、請求項3記載の本発明は、請求項2記載の発明において、前記第1および第2の光増幅器手段に対してそれぞれの帯域に対応した光信号を供給すべく前記光波長多重信号を前記第1および第2の光増幅器手段の帯域に対応した光信号に分離する光分離手段と、前記第1および第2の光増幅器手段で増幅された帯域の異なるそれぞれの光信号を多重化する光多重化手段とを有することを要旨とする。

【0014】請求項3記載の本発明にあつては、光分離手段において光波長多重信号を第1および第2の光増幅器手段の帯域に対応した各光信号に分離して各光増幅器手段に供給し、第1および第2の光増幅器手段で増幅された帯域の異なるそれぞれの光信号を光多重化手段で多重化して光ファイバに出力している。

【0015】請求項4記載の本発明は、請求項3記載の発明において、前記光分離手段および前記光多重化手段が、アレイ光導波路を有することを要旨とする。

【0016】請求項4記載の本発明にあつては、光分離手段および光多重化手段はアレイ光導波路で構成されている。

【0017】また、請求項5記載の本発明は、請求項3記載の発明において、前記光分離手段および前記光多重化手段が、透過と反射を多段に組み合わせた誘電体多層膜フィルタを有することを要旨とする。

【0018】請求項5記載の本発明にあつては、光分離手段および光多重化手段は透過と反射を多段に組み合わせた誘電体多層膜フィルタで構成されている。

【0019】更に、請求項6記載の本発明は、請求項3記載の発明において、前記光分離手段および前記光多重化手段が、クロストークが 29dB 以上であることを要旨とする。

【0020】請求項6記載の本発明にあつては、光分離手段および光多重化手段のクロストークが 29dB 以上である。

【0021】請求項7記載の本発明は、請求項2記載の発明において、前記第1および第2の光増幅器手段のいずれか一方または両方の後段に設けられ、伝送路の波長分散を補償する分散補償手段を有することを要旨とする。

【0022】請求項7記載の本発明にあつては、第1および第2の光増幅器手段のいずれか一方または両方の後段に設けられた分散補償手段により伝送路の波長分散を補償することができる。

【0023】また、請求項8記載の本発明は、請求項7記載の発明において、前記分散補償手段が、伝送路の波長分散の補償と同時に波長分散傾斜も補償する波長分散傾斜補償手段を有することを要旨とする。

【0024】請求項8記載の本発明にあつては、分散補

償手段によって波長分散傾斜も補償することができる。

【0025】更に、請求項9記載の本発明は、請求項7または8記載の発明において、前記分散補償手段が、ファイバグレーティングを有することを要旨とする。

【0026】請求項9記載の本発明にあつては、分散補償手段はファイバグレーティングで構成されている。

【0027】請求項10記載の本発明は、請求項1記載の発明において、前記励起光源が、半導体レーザダイオードを有することを要旨とする。

10 【0028】請求項10記載の本発明にあつては、励起光源は半導体レーザダイオードで構成されている。

【0029】また、請求項11記載の本発明は、請求項1記載の発明において、前記励起光源が、半導体レーザダイオードで励起されるファイバランレーザを有することを要旨とする。

【0030】請求項11記載の本発明にあつては、励起光源は半導体レーザダイオードで励起されるファイバランレーザで構成されている。

20 【0031】更に、請求項12記載の本発明は、請求項1記載の発明において、前記合波手段が、本波長多重信号増幅中継器の入力側または出力側または入力側と出力側の両方において前記励起光源からの励起光を光波長多重信号と合波して $1.3\mu\text{m}$ 帯の光信号にラマン増幅を起こさせるように設けられていることを要旨とする。

【0032】請求項12記載の本発明にあつては、合波手段は中継器の入力側または出力側または入力側と出力側の両方に設けられて、励起光源からの励起光を光波長多重信号と合波して $1.3\mu\text{m}$ 帯の光信号にラマン増幅を起こさせている。

30 【0033】請求項13記載の本発明は、請求項1記載の発明において、前記合波手段が、WDM（波長分割多重）カプラを有することを要旨とする。

【0034】請求項13記載の本発明にあつては、合波手段はWDM（波長分割多重）カプラで構成されている。

【0035】また、請求項14記載の本発明は、請求項1記載の発明において、前記合波手段が、誘電体多層膜フィルタを有することを要旨とする。

40 【0036】請求項14記載の本発明にあつては、合波手段は誘電体多層膜フィルタで構成されている。

【0037】更に、請求項15記載の本発明は、波長多重通信方式で光ファイバを伝送される光波長多重信号の $1.3\mu\text{m}$ 帯の光信号と $1.55\mu\text{m}$ 帯の光信号の両方を増幅する光増幅手段、 $1.3\mu\text{m}$ 帯でラマン増幅を起こさせる作用を有する励起光源、 $1.3\mu\text{m}$ 帯の光信号にラマン増幅を起こさせて、光ファイバの $1.3\mu\text{m}$ 帯の損失と $1.55\mu\text{m}$ 帯の損失の差を補償させるべく前記励起光源からの励起光を光波長多重信号と合波する合波手段を有し、光波長多重信号を増幅して中継する1台以上複数台の波長多重信号増幅中継器を光ファイバに直

列に配設したことを要旨とする。

【0038】請求項15記載の本発明にあつては、1. 3 μ m帯および1. 55 μ m帯の両方の光波長多重信号を増幅するとともに1. 3 μ m帯の光波長多重信号にラマン増幅を与える波長多重信号増幅中継器を伝送路に使用して、光波長多重信号を伝送するため、1. 55 μ m帯よりも大きい1. 3 μ m帯における光ファイバの損失をラマン増幅で補償することができ、伝送帯域を大幅に広げた光通信伝送路を実現でき、数Tbit/sの超大容量光通信も可能となる。

【0039】請求項16記載の本発明は、請求項15記載の発明において、前記光ファイバが、1. 55 μ m帯に設定された平均零分散波長を有することを要旨とする。

【0040】請求項16記載の本発明にあつては、光ファイバの平均零分散波長は1. 55 μ m帯に設定されている。

【0041】また、請求項17記載の本発明は、請求項16記載の発明において、前記伝送される光波長多重信号の波長間隔が1. 3 μ m帯では等間隔であり、1. 55 μ m帯では不等間隔であることを要旨とする。

【0042】請求項17記載の本発明にあつては、光波長多重信号の波長間隔は1. 3 μ m帯では等間隔であり、1. 55 μ m帯では不等間隔である。

【0043】更に、請求項18記載の本発明は、請求項16記載の発明において、前記波長多重信号増幅中継器の光増幅手段が1. 3 μ m帯の利得帯域を有する第1の光増幅器手段および1. 55 μ m帯の利得帯域を有する第2の光増幅器手段を有し、前記第1の光増幅器手段の後段に設けられ、伝送路の波長分散を補償する分散補償手段を有することを要旨とする。

【0044】請求項18記載の本発明にあつては、1. 3 μ m帯用の第1の光増幅器手段の後段に分散補償手段を設けて、伝送路の波長分散を補償している。

【0045】請求項19記載の本発明は、請求項15記載の発明において、前記光ファイバが、1. 3 μ m帯に設定された平均零分散波長を有することを要旨とする。

【0046】請求項19記載の本発明にあつては、光ファイバの平均零分散波長は1. 3 μ m帯に設定されている。

【0047】また、請求項20記載の本発明は、請求項19記載の発明において、前記伝送される光波長多重信号の波長間隔が1. 55 μ m帯では等間隔であり、1. 3 μ m帯では不等間隔であることを要旨とする。

【0048】請求項20記載の本発明にあつては、光波長多重信号の波長間隔は1. 55 μ m帯では等間隔であり、1. 3 μ m帯では不等間隔である。

【0049】更に、請求項21記載の本発明は、請求項19記載の発明において、前記波長多重信号増幅中継器の光増幅手段が1. 3 μ m帯の利得帯域を有する第1の

光増幅器手段および1. 55 μ m帯の利得帯域を有する第2の光増幅器手段を有し、前記第2の光増幅器手段の後段に設けられ、伝送路の波長分散を補償する分散補償手段を有することを要旨とする。

【0050】請求項21記載の本発明にあつては、1. 55 μ m帯用の第2の光増幅器手段の後段に分散補償手段を設け、伝送路の波長分散を補償している。

【0051】請求項22記載の本発明は、請求項15記載の発明において、前記光ファイバが、1. 55 μ m帯よりも更に長い波長帯に設定された平均零分散波長を有することを要旨とする。

【0052】請求項22記載の本発明にあつては、光ファイバの平均零分散波長は1. 55 μ m帯よりも更に長い波長帯に設定されている。

【0053】また、請求項23記載の本発明は、請求項15記載の発明において、前記光ファイバが、1. 3 μ m帯よりも更に短い波長帯に設定された平均零分散波長を有することを要旨とする。

【0054】請求項23記載の本発明にあつては、光ファイバの平均零分散波長は1. 3 μ m帯よりも更に短い波長帯に設定されている。

【0055】更に、請求項24記載の本発明は、請求項15記載の発明において、前記光ファイバが、1. 3 μ m帯と1. 55 μ m帯との間に設定された平均零分散波長を有することを要旨とする。

【0056】請求項24記載の本発明にあつては、光ファイバの平均零分散波長は1. 3 μ m帯と1. 55 μ m帯との間に設定されている。

【0057】

【発明の実施の形態】以下、図面を用いて本発明の実施の形態について説明する。

【0058】図1は、本発明の一実施形態に係る波長多重信号増幅中継器の構成を示すブロック図である。同図に示す波長多重信号増幅中継器は、1. 55 μ m帯に加えて1. 3 μ m帯の波長の光信号も増幅して、増幅帯域を増大し得るように現在長距離伝送用として使用されている2個の1. 55 μ m帯光増幅器3と1. 3 μ m帯の光信号を増幅する2個の1. 3 μ m帯光増幅器4とを有し、入力光ファイバ1から伝送される光波長多重信号は光信号分離回路2において光増幅器3、4のそれぞれの増幅帯域の波長の光信号に分離され、1. 55 μ m帯の光信号は1. 55 μ m帯光増幅器3に入力され、1. 3 μ m帯の光信号は1. 3 μ m帯光増幅器4に入力されて、それぞれ増幅されるようになっている。

【0059】各光増幅器3、4で増幅された1. 55 μ m帯および1. 3 μ m帯の各光信号は、それぞれの波長分散補償素子5に入力され、伝送路の波長分散を補償されてから、光信号多重化回路6に入力される。光信号多重化回路6は、1. 55 μ m帯の光信号と1. 3 μ m帯の光信号を多重化し、再度光波長多重信号として合波回

路8に入力する。合波回路8は、光信号多重化回路6からの光波長多重信号を1.3 μ m帯ラマン増幅用励起光源7から出力される1.2 μ m付近の波長の励起光と合波する。

【0060】1.3 μ m帯ラマン増幅用励起光源7は、1.3 μ m帯でラマン増幅を起こさせる作用を有するものであり、これにより合波回路8で励起光と合波された光波長多重信号のうち1.3 μ m帯の光信号は励起光源7からの励起光によりラマン利得を与えられ、光ファイバ1における1.3 μ m帯の光信号の損失を補償し、光ファイバ伝送路における1.3 μ m帯の光信号のパワーを1.55 μ m帯の光信号のパワーと同程度にし、出力光ファイバ9から出力される。

【0061】図2は、光信号パワーの光ファイバ伝送距離依存性を示すグラフである。同図において、実線は図1に示す実施形態の波長多重信号増幅中継器における1.3 μ m帯の光信号パワーの距離依存性を示し、点線は1.55 μ m帯の光信号パワーの距離依存性を示し、一点鎖線はラマン利得がない場合の1.3 μ m帯の光信号パワーの距離依存性を示している。同図からわかるように、一点鎖線で示すラマン利得のない1.3 μ m帯の光信号は、1.55 μ m帯の光信号に比較して光ファイバによってかなり減衰するが、本実施形態のようにラマン利得を与えることにより、1.3 μ m帯の光信号の光ファイバにより損失は補償される。

【0062】1.3 μ m帯ラマン増幅用励起光源7によるラマン増幅は、伝送用の光ファイバ中で発生する誘導ラマン散乱によって光信号を増幅するものであり、光信号より波長の短い光をポンプ光として光ファイバに入射することにより増幅作用を発生する。1.3 μ m帯でラマン増幅作用を引き起こすためには、約1.2 μ mの波長の光をポンプ光とする必要がある。ラマン利得はラマン増幅により伝送路の光ファイバ中で得られる利得となる。因に、1.3 μ m帯の光信号の光ファイバによる伝送損失は約0.3dB/kmであり、1.55 μ m帯では約0.2dB/kmであるので、光ファイバの入力光信号のパワーが同じであっても、50km伝送後には5dBの差が発生する。従って、1.3 μ m帯の光信号に5dBのラマン利得を与えることにより1.55 μ m帯の光信号のパワーとほぼ同じようになる。

【0063】1.55 μ m帯光増幅器3は、通常のエルビウムドープ光ファイバ増幅器(EDFA)を使用することができる。また、前述したように、EDFAの利得帯域を長波長側にシフトしたゲインシフトEDFAも使用することができ、この2種類のEDFAを組み合わせ、図1の2台の1.55 μ m帯光増幅器3として使用することができる。

【0064】1.3 μ m帯光増幅器4は、例えばブラセオジウムをファイバ中に添加したブラセオジウムドープ光ファイバ増幅器である。1.3 μ m帯光増幅器4の波

長帯の一例は、1280nm~1310nmまたは1320nm~1350nmであり、また1.55 μ m帯光増幅器3の波長帯の一例は、1530nm~1570nmまたは1580nm~1620nmである。ここで、1.3 μ m帯の波長幅が狭いのは、周波数が高いため同じ10THz幅でも波長帯として狭くなるからである。

【0065】なお、現状の光増幅器の利得帯域は、せいぜい数十nmであり、利得帯域の異なる光増幅器を組み合わせることにより、1.3 μ m帯および1.55 μ m帯でそれぞれ50~60nmの利得帯域を実現するために、上記実施形態では光増幅器3、4をそれぞれ2台ずつ使用しているが、1台で60nm以上の帯域をカバーする場合には、光増幅器3、4はそれぞれ1台ずつで実現できることは勿論である。また逆に、光増幅器3、4の数を更に多くすることもできる。この場合には、1台当りのカバーする帯域が狭くてすむので、光増幅器3、4に使用される励起光源のパワーを少なくすることができる。

【0066】伝送路の波長分散を補償する波長分散補償素子5は、1.55 μ m帯光増幅器3および1.3 μ m帯光増幅器4の両方の後段に設けられているが、後述するようにいずれか一方の後段に設けられてもよい。また、波長分散補償素子5は、伝送路の波長分散を補償すると同時に波長分散傾斜も補償する機能を有し、例えばファイバグレーティングを使用することができる。

【0067】波長分散補償素子5について更に具体的に説明すると、光ファイバの波長分散は一定ではなく、波長の関数になっていて、例えば1.3 μ mで波長分散が0ps/km/nmの光ファイバは1.55 μ mでは約18ps/km/nmの波長分散を有する。波長分散傾斜は波長分散の変化量を波長の差で割ったものであり、おおよそ0.05~0.1ps/km/nm/nmの大きさである。

【0068】本実施形態に使用されている波長分散補償素子5は例えば1550nmで18ps/km/nmの波長分散と0.05ps/km/nm/nmの波長分散傾斜を有するファイバを補償することができる。このファイバを50km伝送すると、信号波長1550nmでは900ps/nmの累積波長分散が発生する。また、信号波長を1560nmにすると、波長分散は18.5ps/km/nmに増えるので、同じ50kmのファイバを伝送しても、累積波長分散は925ps/nmに増大する。波長分散と波長分散傾斜を同時に補償する波長分散補償素子は、1550nmでは-900ps/nmの波長分散を有し、1560nmでは-925ps/nmの波長分散を有するものとなる。通常の波長分散補償素子は、波長分散のみしか補償しないので、1550nmでも1560nmでも-900ps/nmの波長分散となってしまう、1560nmでは累積分散を補償しきれなくなる。従って、波長分散と波長分散傾斜の両方を同時に補償することにより、伝送特性を改善することができる。

【0069】 1. 3 μm 帯ラマン増幅用励起光源 7 は、例えば半導体レーザダイオードまたは半導体レーザダイオードで励起されるファイバラマンレーザを使用することができる。

【0070】 合波回路 8 は、光信号多重化回路 6 からの 1 本の光ファイバに多重化された光波長多重信号と励起光源 7 からの 1. 3 μm 帯ラマン増幅用励起光とを合波するものであり、例えば光ファイバコブラ、特に WDM (波長分割多重) コブラまたは誘電体多層膜フィルタを使用することができる。本実施形態では、ラマン増幅用励起光と光波長多重信号は出力光ファイバ 9 中を同一方向に伝搬していくので、光波長多重信号のうち 1. 3 μm の光信号は本波長多重信号増幅中継器の出力近傍で大きなラマン利得を受け、次の波長多重信号増幅中継器の入力近傍ではそれほど利得を得られない。

【0071】 光信号分離回路 2 は、例えばアレイ導波路型波長分離素子または誘電体多層膜フィルタの反射と透過を多段に組み合わせた分離回路を使用することができる。また、光信号分離回路 2 は 29 dB 以上のクロストークを有することが好ましい。

【0072】 図 3 は、誘電体多層膜フィルタで構成される光信号分離回路 2 の具体的構成を示す図である。図 3 において、11 は入力光ファイバ 1 からの光波長多重信号のうちの 1. 3 μm 帯の光信号を透過し、1. 55 μm 帯の光信号を反射するフィルタ、12 は 1. 3 μm よりも短い波長の光信号を反射し、長波長の光信号を透過するフィルタ、13 は 1. 57 μm より短波長の光信号を反射し、長波長の光信号を透過するフィルタ、14 は 1. 31 μm より短波長で 1. 3 μm 帯の光波長多重信号を出力する出力光ファイバ、15 は 1. 31 μm より長波長で 1. 3 μm 帯の光波長多重信号を出力する出力光ファイバ、16 は 1. 57 μm より短波長で 1. 55 μm 帯の光波長多重信号を出力する出力光ファイバ、17 は 1. 57 μm より長波長で 1. 55 μm 帯の光波長多重信号を出力する出力光ファイバである。

【0073】 このように誘電体多層膜フィルタで構成される光信号分離回路 2 により、入力光ファイバ 1 から入力される光波長多重信号を (1) 1. 31 μm より短波長で 1. 3 μm 帯、(2) 1. 31 μm より長波長で 1. 3 μm 帯、(3) 1. 57 μm より短波長で 1. 55 μm 帯、(4) 1. 57 μm より長波長で 1. 55 μm 帯の光波長多重信号を分離し、それぞれに対応する利得帯域の光増幅器 3、4 に入力することができる。

【0074】 図 4 は、本発明の他の実施形態に係る波長多重信号増幅中継器の構成を示すブロック図である。同図に示す波長多重信号増幅中継器は、図 1 に示した実施形態において合波回路 8 を入力光ファイバ 1 に挿入し、1. 3 μm 帯ラマン増幅用励起光源 7 からの励起光を光波長多重信号とは逆方向に入力光ファイバ 1 中を伝搬するように構成した点が異なるものであり、その他の構成

作用は同じである。

【0075】 図 5 は、図 4 の実施形態の場合の光信号パワーの光ファイバ伝送距離依存性を示すグラフである。同図において、実線は本実施形態の 1. 3 μm 帯の光信号パワーの距離依存性を示し、点線は 1. 55 μm 帯の光信号パワーの距離依存性を示し、一点鎖線はラマン利得がない場合の 1. 3 μm 帯の光信号パワーの距離依存性を示している。同図からわかるように、図 1 に示した実施形態との相違は、1. 3 μm 帯の光信号パワーが本中継器の出力近傍で速やかに減衰することで、1. 3 μm 帯の光信号に対する光ファイバの非線形性による光信号劣化を緩和することができる。

【0076】 図 6 は、本発明の別の実施形態に係る波長多重信号増幅中継器の構成を示すブロック図である。同図に示す波長多重信号増幅中継器は、図 1 および図 4 の実施形態において合波回路 8 を本中継器の出力側または入力側、すなわち入力光ファイバ 1 または出力光ファイバ 9 に挿入したのに対して、入出力の両側、すなわち入力光ファイバ 1 と出力光ファイバ 9 の両方に合波回路 8 を挿入し、ラマン増幅用励起光源 7 からの励起光を光波長多重信号と同方向および逆方向の両方向に入力光ファイバ 1、出力光ファイバ 9 中を伝搬するように構成するとともに、そのためにラマン増幅用励起光源 7 からの励起光を二分岐する光回路 18 を設け、これによりラマン増幅用励起光源 7 からの励起光を二分岐し、入出力側の光ファイバ 1、9 に挿入された 2 つの合波回路 8 に供給し、これにより該励起光を光波長多重信号と合波するようにしているものである。

【0077】 図 7 は、図 6 の実施形態の場合の光信号パワーの光ファイバ伝送距離依存性を示すグラフである。同図において、実線は本実施形態の 1. 3 μm 帯の光信号パワーの距離依存性を示し、点線は 1. 55 μm 帯の光信号パワーの距離依存性を示し、一点鎖線はラマン利得がない場合の 1. 3 μm 帯の光信号パワーの距離依存性を示している。同図からわかるように、1. 3 μm 帯の光信号パワーの低下が 1. 55 μm 帯の光信号パワーの低下に非常に類似しているものとなるので、1. 3 μm 帯と 1. 55 μm 帯の伝送特性を整合させることが容易になる。

【0078】 なお、図 6 の実施形態では、ラマン増幅用励起光源 7 の数を節約するために、1 個の励起光源 7 の出力を光回路 18 で二分岐して、両方の合波回路 8 に供給しているが、2 個の励起光源 7 を使用することも可能であることは勿論である。

【0079】 図 8 は、本発明の更に他の実施形態に係る光通信伝送路の構成を示す図である。同図において、19 は図 1、図 4、図 6 に示す本発明の波長多重信号増幅中継器であり、20 は伝送用光ファイバである。

【0080】 図 8 の実施形態の光通信伝送路では、伝送用光ファイバ 20 の平均零分散波長を 1. 55 μm 帯に

設定している。光波長多重信号と伝送用光ファイバ20の平均零分散波長との関係は、図9に示すようになっている。このように設定した場合、上述した図1、図4、図6の実施形態において1.55 μ m帯光増幅器3の後段に設けられていた波長分散補償素子5は不要となる。すなわち、光ファイバの平均零分散波長が信号波長帯と一致している場合には、長距離伝送後でも累積分散値がそれほど大きくなりないので、中継器内に設けていた波長分散補償素子5でいちいち波長分散を補償する必要がなく、従って波長分散補償素子5が不要となる。平均零分散波長が1.55 μ mで信号波長が1.55 μ mである場合には、累積波長分散は零になるので、中継器毎に波長分散補償を行う必要はない。

【0081】本実施形態では、光通信伝送路に伝送される光波長多重信号の波長間隔は、1.3 μ m帯では等間隔、1.55 μ m帯では不等間隔になっている。すなわち、これは、伝送用の光ファイバの零分散波長との兼ね合いで、零分散波長に近い帯域で発生する四光波混合を抑制するために不等間隔化する。信号波長帯域と伝送用の光ファイバの零分散波長が近接している場合に不等間隔多重を行うことは公知である。なお、等間隔の場合の波長間隔は例えばITUでは100GHzを1つの基準間隔として勧告されている。

【0082】図10は、本発明の更に別の実施形態に係る光通信伝送路の構成を示す図である。19、20はそれぞれ図8と同じ波長多重信号増幅中継器および伝送用光ファイバである。本実施形態では、伝送用光ファイバ20の平均零波長分散を1.3 μ m帯に設定している。光波長多重信号と伝送用光ファイバ20の平均零分散波長との関係は、図11に示すようになる。このように設定した場合、上述した図1、図4、図6の実施形態において1.3 μ m帯光増幅器4の後段に設けられていた波長分散補償素子5は不要となる。

【0083】図12は、本発明のまた更に他の実施形態に係る光通信伝送路の構成を示す図である。19、20はそれぞれ図8と同じ波長多重信号増幅中継器および伝送用光ファイバである。本実施形態では、伝送用光ファイバ20の平均零波長分散を1.3 μ m帯と1.55 μ m帯との中間に設定している。光波長多重信号と伝送用光ファイバ20の平均零分散波長との関係は、図13に示すようになる。このように設定した場合、上述した図1、図4、図6の実施形態において1.3 μ m帯光増幅器4の後段に設けられている波長分散補償素子5は大きな異常分散を有し、1.55 μ m帯光増幅器3の後段に設けられていた波長分散補償素子5は大きな正常分散を有する。

【0084】図14は、本発明のまた更に別の実施形態に係る光通信伝送路の構成を示す図である。19、20はそれぞれ図8と同じ波長多重信号増幅中継器および伝送用光ファイバである。本実施形態では、伝送用光ファイ

バ20の平均零波長分散を1.55 μ m帯よりも更に長波長に設定している。光波長多重信号と伝送用光ファイバ20の平均零分散波長との関係は、図15に示すようになる。このように設定した場合、上述した図1、図4、図6の実施形態において光増幅器3、4の後段に設けられている波長分散補償素子5は大きな異常分散を有する。

【0085】図16は、本発明のまた更に他の実施形態に係る光通信伝送路の構成を示す図である。19、20はそれぞれ図8と同じ波長多重信号増幅中継器および伝送用光ファイバである。本実施形態では、伝送用光ファイバ20の平均零波長分散を1.3 μ m帯よりも更に短波長に設定している。光波長多重信号と伝送用光ファイバ20の平均零分散波長との関係は、図17に示すようになる。このように設定した場合、上述した図1、図4、図6の実施形態において光増幅器3、4の後段に設けられている波長分散補償素子5は大きな正常分散を有する。

【0086】

【発明の効果】以上説明したように、本発明によれば、1.3 μ m帯の光信号と1.55 μ m帯の光信号の両方を増幅するとともに、励起光源からのラマン増幅用励起光を光波長多重信号と合波して1.3 μ m帯の光信号にラマン増幅を起こさせるので、1.55 μ m帯よりも大きい1.3 μ m帯における光ファイバの損失をラマン増幅で補償することができ、伝送帯域を大幅に広げた光通信伝送路を実現でき、数Tbit/sの超大容量光通信も可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の一実施形態に係る波長多重信号増幅中継器の構成を示すブロック図である。

【図2】図1の実施形態における光信号パワーの光ファイバ伝送距離依存性を示すグラフである。

【図3】図1の実施形態に使用されている光信号分離回路を誘電体多層膜フィルタで構成した場合の具体的構成を示す図である。

【図4】本発明の他の実施形態に係る波長多重信号増幅中継器の構成を示すブロック図である。

【図5】図4の実施形態の場合の光信号パワーの光ファイバ伝送距離依存性を示すグラフである。

【図6】本発明の別の実施形態に係る波長多重信号増幅中継器の構成を示すブロック図である。

【図7】図6の実施形態の場合の光信号パワーの光ファイバ伝送距離依存性を示すグラフである。

【図8】本発明の更に他の実施形態に係る光通信伝送路の構成を示す図である。

【図9】図8の実施形態における光波長多重信号と伝送用光ファイバの平均零分散波長との関係を示す図である。

【図10】本発明の更に別の実施形態に係る光通信伝送

路の構成を示す図である。

【図 11】図 10 の実施形態における光波長多重信号と伝送用光ファイバの平均零分散波長との関係を示す図である。

【図 12】本発明のまた更に他の実施形態に係る光通信伝送路の構成を示す図である。

【図 13】図 12 の実施形態における光波長多重信号と伝送用光ファイバの平均零分散波長との関係を示す図である。

【図 14】本発明のまた更に別の実施形態に係る光通信伝送路の構成を示す図である。

【図 15】図 14 の実施形態における光波長多重信号と伝送用光ファイバの平均零分散波長との関係を示す図である。

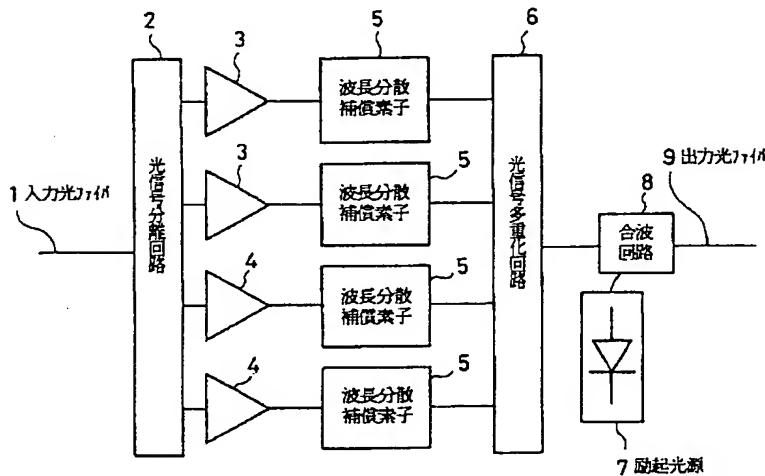
【図 16】本発明のまた更に他の実施形態に係る光通信伝送路の構成を示す図である。

【図 17】図 16 の実施形態における光波長多重信号と伝送用光ファイバの平均零分散波長との関係を示す図である。

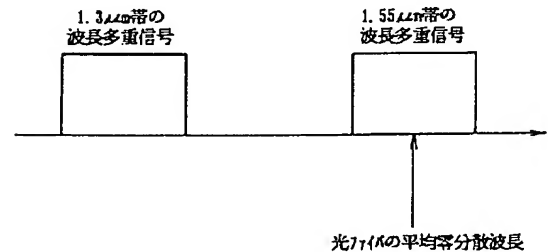
【符号の説明】

- 1 入力光ファイバ
- 2 光信号分離回路
- 3 1.55 μm 帯光増幅器
- 4 1.3 μm 帯光増幅器
- 5 波長分散補償素子
- 6 光信号多重化回路
- 7 1.3 μm 帯ラマン増幅用励起光源
- 8 合波回路
- 9 出力光ファイバ
- 19 波長多重信号増幅中継器
- 20 伝送用光ファイバ

【図 1】

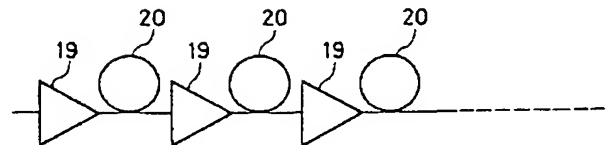
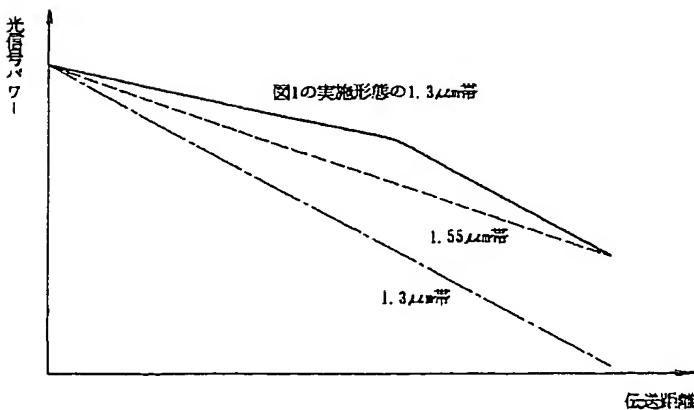


【図 9】

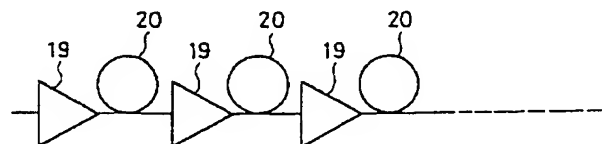


【図 2】

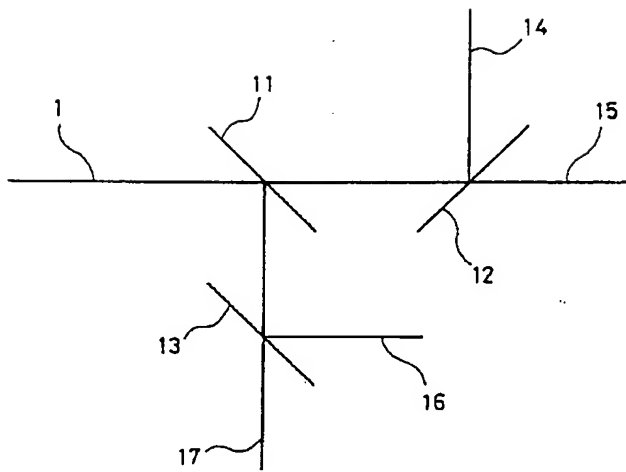
【図 8】



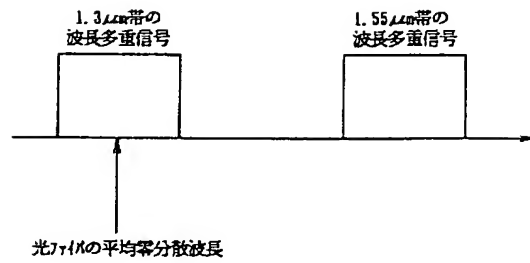
【図 10】



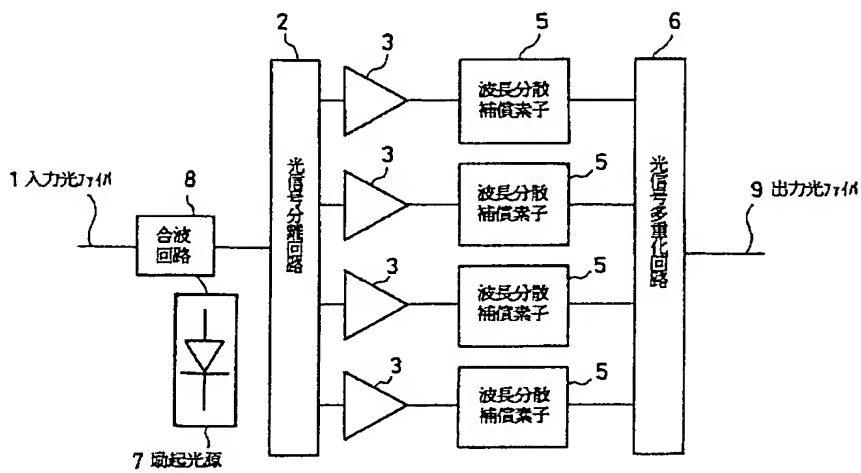
【図3】



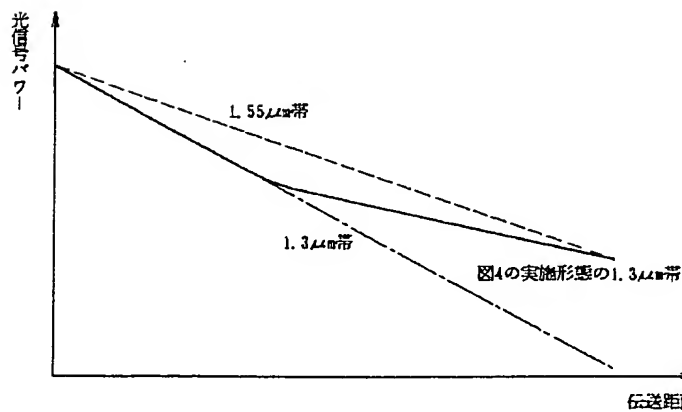
【図11】



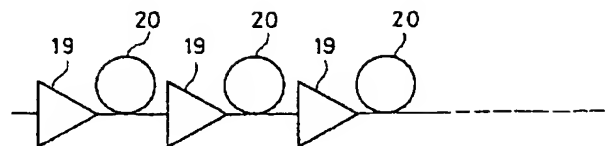
【図4】



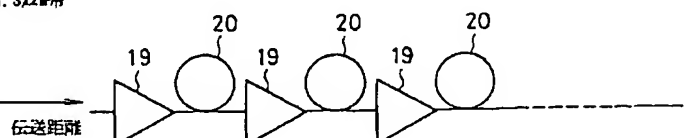
【図5】



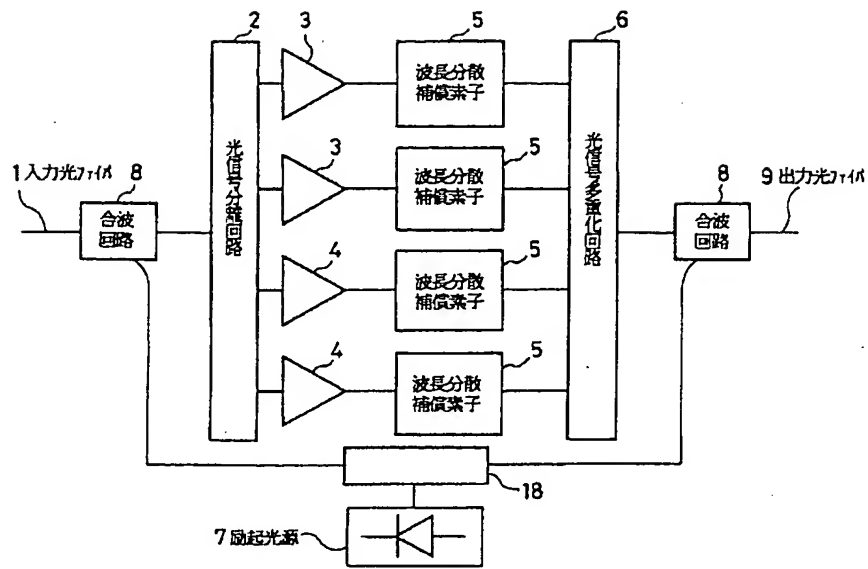
【図12】



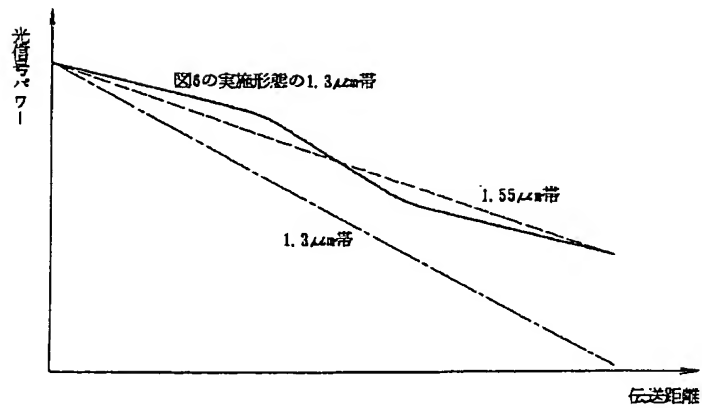
【図14】



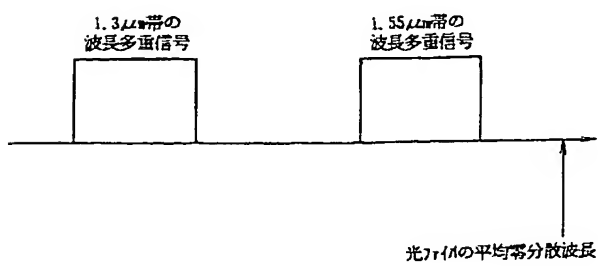
【図6】



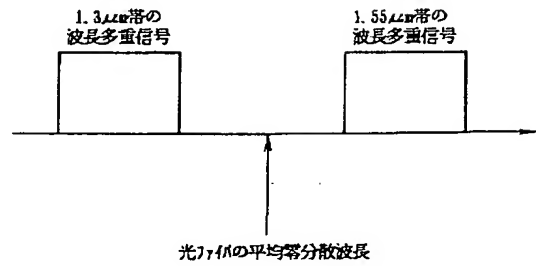
【図7】



【図15】

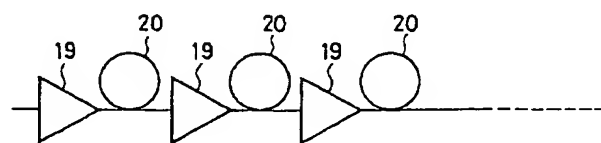


【図13】

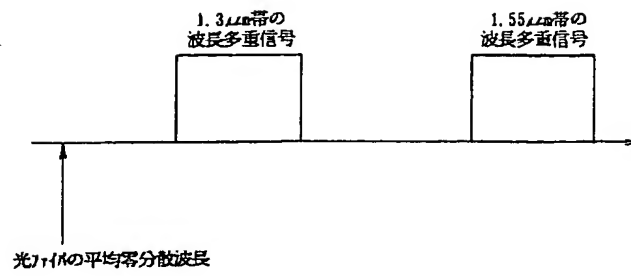


光ファイバの平均零分散波長

【図16】



【図17】



フロントページの続き

(51) Int. Cl.⁶

識別記号

F I

H 0 4 B 10/02
10/18